



DIRECTION DES CENTRALES NUCLEAIRES

Montrouge, le 15 juillet 2014

**Réf. : CODEP-DCN-2014-010799****Monsieur le Directeur  
Centre national d'équipement nucléaire  
(CNEN)  
EDF  
97 avenue Pierre Brossolette  
92120 MONTROUGE****Objet : Réacteur EPR de Flamanville 3  
Études probabilistes de sûreté de niveau 2 (EPS 2)****Réf. :** [1] Directives techniques pour la conception et la construction de la prochaine génération de réacteurs nucléaires à eau sous pression  
[2] Arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base

Monsieur le Directeur,

Les études probabilistes de niveau 2 (EPS 2) visent à évaluer la nature, l'importance et les fréquences des rejets hors de l'enceinte de confinement.

L'EPS 2 du réacteur n° 3 de Flamanville présente une évolution importante par rapport à celle des autres réacteurs nucléaires français. Elle s'appuie essentiellement sur les directives techniques, en référence [1], qui fixent comme objectif principal la réduction significative des rejets radioactifs pouvant résulter de toutes les situations d'accident concevables, y compris les accidents avec fusion du cœur.

Pour chaque type d'accident les directives techniques fixent les objectifs suivants :

- pour les situations d'accidents sans fusion du cœur, il ne doit pas y avoir de nécessité d'actions de protection des populations vivant dans le voisinage de la centrale endommagée (pas d'évacuation, pas de mise à l'abri) ;
- les accidents avec fusion du cœur à basse pression doivent être traités de telle sorte que les rejets maximaux concevables associés ne nécessitent que des mesures de protection des populations limitées en termes d'étendue et de durée ;
- les accidents avec fusion du cœur qui conduiraient à des rejets précoces importants doivent être pratiquement éliminés.

Les directives techniques précisent, entre autre, que « Une étude probabiliste de sûreté doit être réalisée en commençant dès le stade de la conception et en incluant au moins les évènements internes ; cette étude probabiliste de sûreté indiquerait les fréquences des séquences de fusion du cœur avec un aperçu des conséquences possibles des différents types de situations avec fusion du cœur sur la fonction de confinement. [...]. L' « élimination pratique » des situations accidentelles qui pourraient conduire à des rejets précoces importants [...] peut être démontrée par des considérations déterministes et/ou probabilistes, en tenant compte des incertitudes dues aux connaissances limitées de certains phénomènes physiques. Il est souligné que « l'élimination pratique » ne peut pas être démontrée par le respect d'une « valeur de coupure » probabiliste générique. [...]. Pour ce qui concerne les accidents avec fusion du cœur à basse pression, [...], le respect des objectifs généraux de sûreté [...] doit être démontré par le calcul des conséquences radiologiques de différentes séquences représentatives qui doivent être précisément définies en fonction de la conception de la tranche ».

**L'arrêté du 7 février 2012**, en référence [2], dispose, à son article 1.2, que « l'exploitant s'assure que les dispositions retenues pour l'exercice des activités mentionnées à l'article 1<sup>er</sup>.1 permettent d'atteindre, compte tenu de l'état des connaissances des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement un niveau des risques et inconvénients mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement aussi faible que possible dans des conditions économiquement acceptables ».

Après examen de l'EPS 2 du réacteur n° 3 de Flamanville, réalisé avec l'appui de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), l'ASN considère que cette étude apporte un éclairage sur le niveau de sûreté de ce réacteur, en particulier sur l'efficacité du confinement, et qu'elle est globalement conforme à ce qui peut être attendu au stade de la conception du réacteur et au regard des pratiques internationales. Néanmoins, l'ASN considère que certaines parties de cette étude doivent faire l'objet de compléments par EDF afin de pouvoir apprécier le caractère satisfaisant des dispositions de conception. À cette fin, l'ASN vous adresse les demandes détaillées en annexe 1, à prendre en compte en vue de la demande d'autorisation de mise en service du réacteur n° 3 de Flamanville, les demandes détaillées en annexe 2, à prendre en compte pour constituer le dossier de fin de démarrage du réacteur n° 3 de Flamanville, et les observations en annexe 3 jointes à la présente lettre.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de ma considération distinguée.

Le directeur de la DCN,

**Thomas HOUDRÉ**

**Demandses de l'ASN à prendre en compte**  
**pour la demande d'autorisation**  
**de mise en service du réacteur n° 3 de Flamanville**

**A. Courbe de fragilité de l'enceinte**

La courbe de fragilité de l'enceinte de confinement est une donnée essentielle de l'EPS 2 du réacteur n° 3 de Flamanville.

Quel que soit le modèle probabiliste utilisé pour transposer les résultats des études mécaniques dans une courbe de fragilité, l'évaluation du risque de défaillance du confinement reste délicate dès qu'on s'éloigne significativement des valeurs d'épreuve de l'enceinte du réacteur. En effet, il est difficile de rendre compte de faiblesses relatives de l'enceinte interne telles que les soudures, les traversées et les singularités mécaniques, qui se manifesteraient à des pressions supérieures aux pressions d'épreuve.

La forme de la courbe de fragilité retenue par EDF rend très improbable la défaillance de l'enceinte de confinement jusqu'à des pressions de l'ordre de 10 bar abs. De ce fait, les phénomènes induisant une pression élevée dans l'enceinte interne de confinement, tels que la déflagration d'hydrogène, l'échauffement direct de l'enceinte ou la pressurisation lente, contribuent très faiblement au risque de rejets importants.

L'ASN souligne que les seules pressions de vérification de l'enceinte de confinement, à savoir la pression d'épreuve à la mise en service (6 bar abs.) et la pression vérifiée tous les dix ans (5,5 bar abs.), sont significativement inférieures à la valeur de 10 bar abs. pour laquelle il n'est pas prévu de vérification sur site.

**Demande A : L'ASN demande à EDF de réaliser une étude de sensibilité des résultats de l'EPS 2 à la pression ultime de l'enceinte, en considérant l'occurrence de fuites importantes lorsque la pression de l'enceinte interne dépasse la valeur de la pression d'épreuve initiale (soit 6 bar abs.), et de m'indiquer les conclusions que vous en tirez vis-à-vis des dispositions de gestion d'un accident conduisant à une pressurisation importante de l'enceinte.**

**B. Gestion à long terme des situations accidentelles**

Les résultats de l'EPS 2 du réacteur n° 3 de Flamanville indiquent que les situations de perte partielle ou totale de la source froide contribuent pour près de 20% à la fréquence de rejets importants. Les situations de perte des sources électriques haute tension y contribuent pour 17 %. L'ASN considère que ces résultats sont à considérer avec prudence pour les raisons suivantes :

- les arbres d'évènements de l'EPS 2 ne permettent d'évaluer que le premier mode de perte du confinement, cumulé ou non au percement du radier ; les défaillances différées du confinement ne sont donc pas systématiquement prises en compte ;
- en situation de perte totale des alimentations électriques (PTAE), l'impossibilité de restaurer d'une alimentation électrique avant l'atteinte de la pression de ruine de l'enceinte est négligée. En effet, EDF considère un délai de 3 jours avant l'atteinte de la pression ultime de l'enceinte de confinement (10 bar) et un temps moyen de 10 heures pour la réparation d'une alimentation électrique (diesel). L'ASN considère, d'une part, que retenir un délai unique de restauration moyen pour l'ensemble des scénarios constitue une hypothèse forte de l'étude et, d'autre part, que l'évaluation de la pression ultime de tenue de

l'enceinte de confinement est très incertaine ;

- l'étude des possibilités de défaillances de la fonction d'évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte de confinement pouvant survenir durant la progression de l'accident grave mériterait d'être détaillée.

Le réacteur n° 3 de Flamanville n'étant pas équipé d'un système d'éventage-filtration de l'enceinte, l'ASN considère que dans l'EPS 2 la modélisation de la défaillance de la fonction d'évacuation de la puissance de l'enceinte de confinement doit être aussi précise que possible, afin de conforter la valeur associée de probabilité de défaillance du confinement en accident grave.

**Demande B.1 : L'ASN demande à EDF de compléter l'évaluation des risques liés à la perte du confinement induits par l'indisponibilité de la fonction d'évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte à long terme, que l'indisponibilité soit due à l'événement déclencheur de l'accident ou se produise pendant l'accident, et ce pour tous les scénarios inclus dans l'EPS 2, y compris ceux pour lesquels plusieurs défaillances du confinement sont susceptibles de se produire.**

Afin d'évaluer la défaillance de la fonction d'évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte, des hypothèses doivent être faites sur la modalité de restauration des équipements nécessaires à cette fonction. Ces hypothèses doivent faire l'objet d'une analyse détaillée.

En particulier, pour ce qui concerne les hypothèses sur les temps de restauration de ces équipements, l'ASN considère qu'elles doivent faire l'objet d'études de sensibilité.

**Demande B.2 : L'ASN demande à EDF d'explicitier et justifier dans l'EPS 2 les hypothèses de restauration des équipements nécessaires à la fonction d'évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte de confinement (le système EVU et tous ses systèmes supports, en incluant les alimentations électriques).**

**Demande B.3 : L'ASN demande à EDF de présenter la sensibilité des résultats de l'EPS 2 aux temps moyens de restauration de ces équipements, en tenant compte d'une connaissance incertaine de la pression ultime de tenue de l'enceinte de confinement.**

## **C. Combustion d'hydrogène**

Concernant l'étude du risque de défaillance du confinement par combustion d'hydrogène, l'ASN considère que certains compléments devront être apportés à l'EPS 2, en vue de la demande d'autorisation de mise en service du réacteur n° 3 de Flamanville. Ces compléments concernent la prise en compte de :

- la vidange des accumulateurs,
- la présence de gaz imbrulés dans le puits de cuve,
- la déflagration lente d'hydrogène après la rupture de la cuve,
- la mise en service intempestive de l'aspersion dans l'enceinte et la modélisation de la déflagration rapide de manière plus détaillée.

### ***C.1. Vidange des accumulateurs***

Les situations avec renoyage du cœur dégradé n'ont pas été prises en compte par EDF dans l'EPS 2. Or, ces études sont susceptibles d'augmenter de manière significative la masse d'hydrogène produite. Bien que les préconisations du guide pour la conduite du réacteur en situation d'accident grave, OSSA<sup>1</sup>, interdisent l'injection d'eau, de telles situations peuvent résulter du déversement des accumulateurs

---

<sup>1</sup> Operating Strategies for Severe Accidents

ou d'une erreur des opérateurs. EDF n'a pas traité dans l'EPS 2 l'effet de la vidange des accumulateurs lorsqu'elle se produit.

**Demande C.1 : L'ASN demande à EDF de compléter son évaluation des risques associés à une combustion d'hydrogène en précisant la manière dont les situations conduisant à la vidange des accumulateurs en phase de dégradation du cœur sont traitées dans l'étude.**

### ***C.2. Risque induit par les gaz combustibles émis hors cuve***

L'interaction corium-béton est productrice de gaz combustibles tels que l'hydrogène et le monoxyde de carbone. EDF a considéré la combustion instantanée, sous forme de flamme de diffusion, de ces gaz dans le puits de cuve. L'ASN considère que cette hypothèse est trop optimiste car, d'une part, elle nécessite qu'il y ait suffisamment d'oxygène dans le puits de cuve et, d'autre part, elle ne tient pas compte de la complexité des phénomènes opérant dans le puits de cuve au moment de l'interaction entre le corium et le béton.

**Demande C.2 : L'ASN demande à EDF de compléter son évaluation des risques induits par les gaz combustibles émis dans le puits de cuve ou dans la salle d'étalement, lors de la phase tardive de l'accident grave (en particulier pour les scénarios avec un corium peu oxydé à la rupture de la cuve) et sans considérer l'hypothèse selon laquelle ces gaz seraient brûlés instantanément.**

### ***C.3. Déflagration lente de l'hydrogène après la rupture de la cuve***

L'évaluation de la pression dans l'enceinte due à une combustion complète de l'hydrogène pour la phase « hors cuve » est nécessaire pour mettre en évidence les situations dangereuses, étant donné l'impact d'un déficit en oxygène sur la bonne recombinaison de l'hydrogène.

**Demande C.3 : L'ASN demande à EDF de compléter son évaluation des risques en introduisant dans les arbres d'événements le risque de perte du confinement par déflagration lente d'hydrogène après rupture de la cuve.**

### ***C.4. Risques liés au fonctionnement de l'EVU***

Dans les scénarios considérés par EDF dans l'EPS 2, la mise en service intempestive de l'aspersion EVU n'a pas été considérée. L'effet d'un décalage dans le temps de la mise en service de l'aspersion dans l'enceinte n'est donc pas évalué.

L'ASN souligne l'impact important du fonctionnement de l'aspersion dans l'enceinte sur le risque de perte du confinement, que ce soit par les effets de désinertage du mélange gazeux, qui accroissent le risque de défaillance du confinement, ou par l'abaissement de la pression dans l'enceinte, qui diminue le risque. Par ailleurs, les études menées dans le cadre de l'EPS 2 pour les réacteurs du palier 900 MWe montrent que la mise en service intempestive de l'aspersion conduit à l'aggravation de la situation, même si le mélange est bien brassé.

**Demande C.4 : L'ASN demande à EDF de compléter, à l'aide d'études de sensibilité, son évaluation des risques associés à une mise en service à un moment inopportun de l'aspersion dans l'enceinte (EVU), et d'ajouter cet événement dans les arbres d'événements de l'EPS 2.**

### ***C.5. Risque de déflagration rapide***

EDF évalue entre 0,1 % et 1,6 % la probabilité conditionnelle globale de défaillance du confinement en cas de déflagration rapide. Ces valeurs ont été déterminées par jugement d'expert pour l'EPR américain et transposées à l'EPR de Flamanville 3.

L'ASN est très réservée quant aux valeurs numériques utilisées par EDF. Par exemple, la probabilité conditionnelle que le mélange gazeux s'enflamme dès sa sortie du circuit primaire peut être évaluée en considérant soit l'atteinte des critères physiques d'inflammabilité (suivant la composition du mélange), soit l'ignition ; mais l'ignition est très difficile à quantifier.

**Demande C.5 : L'ASN demande à EDF de conforter son évaluation des risques de déflagration rapide en s'appuyant sur des calculs représentatifs des différentes situations possibles.**

## **D. Rupture de la cuve en pression**

### ***D.1. Combustion de l'hydrogène préexistant dans l'enceinte***

Pour les études sur la rupture de la cuve, EDF fait l'hypothèse d'une dispersion nulle du corium en dessous de 20 bar. L'évaluation faite par EDF sur les pics d'échauffement direct de l'enceinte s'appuie sur le guide émis par l'autorité de sûreté américaine, NUREG<sup>2</sup> 6338, qui fait l'hypothèse de négliger l'hydrogène préexistant dans l'enceinte.

L'interprétation des expériences DISCO, réalisées sur une installation reproduisant la géométrie de l'EPR à l'échelle 1/16<sup>ème</sup>, montre que la dispersion du combustible hors du puits de cuve est possible pour des pressions nettement inférieures à 20 bar du fait de la petite dimension du puits de cuve. Elle semble être déjà conséquente dès 10 bar. Les expériences indiquent également qu'en présence d'hydrogène préexistant l'échauffement direct de l'enceinte provoque sa combustion sans modifier fortement le régime de combustion.

L'ASN estime que l'évaluation réalisée par EDF sur la rupture de la cuve n'est pas pleinement conservatrice car elle ne considère pas l'hydrogène préexistant dans l'enceinte et pourrait ne pas couvrir le cas de scénarios à une pression primaire plus basse mais avec une grande quantité d'hydrogène déjà présent dans l'enceinte avant la rupture de la cuve.

**Demande D.1 : L'ASN demande à EDF de compléter son évaluation des risques associés à une rupture de la cuve en pression en prenant en compte la combustion de l'hydrogène déjà présent dans l'enceinte, dans le circuit primaire ou produit par oxydation des particules de corium émises depuis la cuve.**

### ***D.2. Rupture des disques du réservoir de décharge du pressuriseur (RDP)***

Le réservoir de décharge du pressuriseur est équipé de disques de rupture ayant une pression d'éclatement de 19 bar relatifs (équivalents à 20 bar absolus). Dans le cas où la pression primaire est en-dessous de 20 bar à l'entrée en accident grave, sans que les vannes de décharge aient été ouvertes antérieurement, le tarage des disques de rupture du RDP rend alors théoriquement possible une nouvelle pressurisation du circuit primaire jusqu'à 20 bar, ce qui pourrait rendre possible la dispersion du corium à la rupture de la cuve.

Ces situations particulières sans rupture du RDP avant l'entrée en accident grave ne sont pas évaluées dans l'EPS 2. L'ASN considère que des compléments sont nécessaires pour l'évaluation correcte des risques de rupture de la cuve en pression vis-à-vis de la quantité d'hydrogène prise en compte pour la combustion, de l'endommagement de la trappe du puits de cuve et des déplacements de la cuve.

**Demande D.2 : L'ASN demande à EDF de compléter son évaluation des risques associés à une rupture de la cuve en pression en identifiant précisément les situations pour lesquelles la**

---

<sup>2</sup> Nuclear REGULatory Commission Regulation

**rupture des disques du RDP ne serait pas effective malgré l'ouverture des lignes de décharge du pressuriseur.**

### ***D.3. Risque d'endommagement de la trappe du puits de cuve***

L'analyse du risque d'endommagement de la cuve met en évidence les phénomènes suivants :

- la pressurisation de l'enceinte est essentiellement due à la combustion de l'hydrogène (celui produit par oxydation et celui déjà présent dans la cuve et dans l'enceinte) ;
- l'échauffement « direct » par simple convection thermique ou du fait de l'énergie d'oxydation est du second ordre ;
- l'oxydation du corium est très rapide et quasiment complète pour la partie se dispersant hors du puits de cuve ;
- la dispersion du corium hors du puits de cuve est très dépendante de la géométrie du réacteur ; elle est favorisée par un petit puits de cuve (c'est le cas des réacteurs EPR) et une liaison directe entre le puits de cuve et l'enceinte (c'est le cas de tous les réacteurs français mais pas de l'EPR).

EDF suppose que l'endommagement du puits de cuve par pressurisation conduit à un échec de la stabilisation du corium hors cuve. La défaillance de la trappe fusible en fond de puits de cuve est estimée pouvoir avoir lieu pour des pressions dans celui-ci de l'ordre de 30 bar. L'endommagement du puits de cuve n'est supposé se produire que pour des situations à haute pression, de l'ordre de 160 bar.

En réalité les choses semblent moins tranchées. En effet, les premières phases d'échauffement direct de l'enceinte mettent en jeu un écoulement monophasique liquide en jet du corium. Les expériences DISCO montrent que, si le jet de corium n'est pas entièrement fragmenté (la fragmentation étant peu probable avant l'impact), son impact sur le plancher du puits de cuve va produire une pressurisation locale du même ordre de grandeur que la pression dans la cuve. Ainsi, toute rupture de la cuve pour des pressions supérieures à 30 bar devrait conduire à un endommagement du puits de cuve, hormis pour les très petites brèches sur la cuve.

**Demande D.3: L'ASN demande à EDF de compléter son évaluation des risques d'endommagement de la trappe du puits de cuve consécutivement à une rupture de la cuve en pression et les conséquences associées.**

### ***D.4. Déplacements de la cuve***

EDF a évalué le risque de mouvement de la cuve à l'aide d'une formule prenant en compte les données relatives à la brèche (dimensions, pression, débit et vitesse) et la pression de l'enceinte.

L'ASN considère que cette formule n'est valide que si la masse de fluide est faible devant la masse de la cuve et si la cuve est uniformément soumise à la pression extérieure, ce qui n'est pas le cas.

En effet, vis-à-vis de l'évaluation de la force nécessaire au cisaillement des branches au niveau de la cuve, il faut considérer que toutes les branches ne sont pas soumises à la même contrainte, puisqu'une parfaite symétrie axiale de la brèche est peu probable, et que les limites de tenue des branches sont très dépendantes de la température, qui n'est pas la même dans toutes les branches. L'ASN juge donc nécessaire d'introduire une analyse d'incertitude concernant la rupture des branches.

L'ASN est en accord avec EDF pour estimer que le transfert de quantité de mouvement à la brèche seule ne devrait pas conduire à un risque important de déplacement de la cuve. Cependant, d'après les évaluations faites pour les réacteurs 1300 MWe, il apparaît que la pression dans le puits de cuve a un fort

impact sur le déplacement de la cuve. Dans le cas du réacteur EPR, cet impact est augmenté par la petite taille du puits de cuve.

**Demande D.4 : L'ASN demande à EDF de compléter son évaluation des risques de déplacements de la cuve consécutivement à une rupture de la cuve en pression, en tenant compte notamment de la pressurisation du puits de cuve et des incertitudes associées, et les conséquences associées.**

## **E. Lien entre les objectifs généraux de sûreté et l'utilisation de l'EPS 2**

Pour traduire les objectifs des directives techniques, EDF a défini dans le rapport de sûreté (RDS) des cibles probabilistes, à savoir  $10^{-7}$ /année.réacteur pour la fréquence globale de rejets « importants » et  $10^{-8}$ /année.réacteur pour la fréquence de chaque famille d'événements déclencheurs, et a vérifié que les résultats de l'EPS 2 sont inférieurs à ces valeurs.

Les rejets « importants », pour lesquels l'objectif des directives techniques est la mise en œuvre d'actions de protection de la population très limitées en termes d'étendue et de durée, sont définis par EDF comme étant ceux pour lesquels la dose efficace estimée à 7 jours et à 500 mètres de l'installation est supérieure à 50 mSv. L'ASN considère que ce critère est pertinent pour l'EPS 2. Pour les différents scénarios de rejets classés comme « importants » a priori, EDF n'a pas effectué d'évaluation des conséquences radiologiques. Pour les autres situations, EDF a réalisé, au-delà de l'évaluation des fréquences des différents types d'accidents possibles, une évaluation de la dose projetée, afin de vérifier que ces situations ne conduisent pas in fine à des rejets « importants ».

L'ASN rappelle que l'EPS 2 doit contribuer à apporter la démonstration que les objectifs définis dans les directives techniques sont atteints, quel que soit le type de situation accidentelle considérée. L'ASN considère également que l'EPS 2 doit contribuer à démontrer que l'exposition accidentelle à des rejets radiologiques des personnes du public et de l'environnement est aussi faible que raisonnablement possible. A cet égard, l'absence de calcul des conséquences de l'ensemble des situations accidentelles est une limitation forte de l'étude. Aussi, et conformément à la pratique internationale, l'ASN estime nécessaire qu'EDF discrimine les différentes situations de rejets radiologiques « importants » selon leur cinétique et leur amplitude, afin de faciliter l'examen des possibilités de limitation des rejets dans ces situations.

**Demande E : L'ASN demande à EDF d'évaluer la cinétique et l'amplitude des rejets, qu'ils soient importants ou non et, sur cette base, de statuer sur le caractère satisfaisant des dispositions retenues à la conception, au regard des objectifs généraux de limitation de l'exposition accidentelle des personnes du public et de l'environnement à des rejets radiologiques.**



## **Demandes de l'ASN à prendre en compte pour constituer le dossier de fin de démarrage du réacteur n° 3 de Flamanville**

### **F. Extension de l'EPS 2 de l'EPR de Flamanville 3 aux agressions externes**

L'impact des agressions externes n'est pas pris en compte dans l'EPS 2 ; EDF s'est limitée à évaluer l'accroissement de la probabilité de fusion du cœur associée à ces agressions. L'ASN estime importante la prise en compte de ces agressions dans l'EPS 2 du réacteur n° 3 de Flamanville.

**Demande F** : L'ASN demande à EDF de transmettre un calendrier de prise en compte des agressions externes dans l'EPS 2 du réacteur n° 3 de Flamanville.

### **G. Mise à jour des calculs thermohydrauliques en support à l'EPS 2 pour la prise en compte des événements déclencheurs**

Les calculs de scénarios d'accident en support de l'EPS 2 ont été réalisés avec le code MAAP pour le réacteur EPR américain. Ils ont été définis par jugement d'ingénieur, sans prendre en compte les détails de la conduite incidentelle-accidentelle (CIA) applicable au réacteur n° 3 de Flamanville, dont les règles et procédures n'étaient pas disponibles au moment de la réalisation de l'étude, mais en tenant compte des préconisations de conduite de l'installation après fusion du cœur, définies dans les OSSA. EDF considère que cette approche est suffisante et simplifie la réalisation de l'EPS 2 et ses mises à jour ultérieures.

L'ASN convient que ces simplifications étaient nécessaires pour réaliser l'EPS 2 à la conception. Toutefois, afin de garantir le réalisme de l'étude, l'ASN estime que la CIA doit être modélisée à terme dans les simulations d'accident utilisées en support de l'EPS 2. En effet, ces simulations sont nécessaires pour décrire de manière appropriée l'état de l'installation au moment de l'entrée en accident grave.

**Demande G** : L'ASN demande à EDF de mettre à jour les calculs utilisés en support de l'EPS 2, sur la base des procédures de conduite du réacteur n° 3 de Flamanville, dans le but de conforter les regroupements de scénarios issus de l'EPS 1 dans les événements déclencheurs de l'EPS 2, en termes de cinétiques d'accident et d'état du réacteur.

### **H. Évaluation probabiliste de la fiabilité humaine (EPFH) en conduite incidentelle-accidentelle et en accident grave**

#### ***H.1. Modélisation des actions de conduite incidentelle/accidentelle à mettre en œuvre en local***

La méthode d'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine ASEP<sup>3</sup>, qui est commune aux EPS 1 et 2 et qui fournit des probabilités d'échec sur la base de délais disponibles pour réaliser les actions de la CIA, est acceptable pour cette EPS réalisée à la conception. Cependant, l'ASN juge qu'EDF devra vérifier que les consignes destinées aux opérateurs permettent effectivement de réaliser les actions dans les délais impartis, en particulier lorsque le temps de mission est très faible.

---

<sup>3</sup> Accident Sequence Evaluation Program

EDF prévoit d'améliorer la modélisation des missions de conduite de l'EPS 2 en cohérence avec les modifications apportées à l'EPS de niveau 1, de manière à mieux modéliser ces actions. Cependant, l'ASN attire l'attention sur le fait que la méthode ASEP présente un effet de seuil notable pour les temps de mission d'environ 4 heures et que cet effet de seuil est particulièrement sensible pour les situations de stress élevé : l'ASN juge qu'EDF devra, à terme, démontrer que le risque d'échec des missions de conduite au-delà de 4 heures est effectivement résiduel.

L'ASN souligne également qu'un point faible de la méthode ASEP est la modélisation des actions à mettre en œuvre en local. Le simple fait d'augmenter dans l'EPS 2 le délai de réalisation des actions locales, en le faisant passer de 5 à 15 minutes, apparaît insuffisamment justifié.

**Demande H.1 : L'ASN demande à EDF d'améliorer la modélisation des actions de conduite incidentelle/accidentelle à mettre en œuvre en local en tenant compte de :**

- la disponibilité des rondiers pour effectuer l'action à l'instant requis ;
- le délai réel pour se rendre en local ;
- les difficultés de mise en œuvre des actions ;
- les conditions d'éclairage et d'ambiance qui peuvent être dégradées.

### ***H.2. Indépendance entre les missions de conduite incidentelle/accidentelle et celles en accident grave***

EDF considère que l'indépendance entre les actions prescrites par les OSSA et celles prévues par la CIA se justifie par le changement radical de système de conduite que constitue l'utilisation des OSSA vis-à-vis des procédures, des objectifs, des critères et de l'organisation.

L'ASN ne remet pas en cause la position de principe d'EDF, à savoir qu'il n'y a pas à considérer de dépendance entre deux missions de conduite lorsque les procédures et l'organisation de conduite sont radicalement différentes. Néanmoins, certains éléments ne permettent pas de séparer les deux situations de manière nette :

- certaines actions à mettre en œuvre en CIA pour éviter la fusion du cœur peuvent être identiques à celles à mettre en œuvre dès l'entrée dans les OSSA ;
- pour les actions immédiates des OSSA, l'organisation de conduite est identique à celle de la CIA et les actions sont mises en œuvre par les opérateurs en salle de commande sans intervention de l'équipe de crise ;
- la dynamique du scénario est un élément important ; en effet, pour les dynamiques lentes, l'organisation de crise est créée et opérationnelle bien avant l'entrée en accident grave ; l'entrée dans les OSSA n'apporte alors pas d'évolution dans l'organisation de conduite.

En conséquence, l'ASN considère que les dépendances entre échec des missions de conduite en CIA et dans les OSSA doivent être examinées cas par cas.

**Demande H.2 : L'ASN demande à EDF de reconsidérer son hypothèse de complète indépendance entre les missions de conduite en situations incidentelles ou accidentelles (hors fusion du cœur) et celles en accident grave et de proposer une autre modélisation pour l'action de dépressurisation.**

### ***H.3. Conduite selon les OSSA***

La méthode simplifiée utilisée par EDF pour modéliser les actions des OSSA ne tient compte que d'un paramètre, le temps, ce qui est très réducteur. En outre, le modèle simplifié ne prévoit pas de traitement particulier pour les actions à mettre en œuvre localement, les difficultés d'accessibilité des locaux éventuellement contaminés n'étant pas prises en compte.

Au cours de l'instruction du réexamen VD3 900, EDF s'était engagé à élaborer un modèle générique d'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine applicable aux EPS 2 pour le réexamen VD3 1300. Le modèle MEPEM ainsi créé par EDF est un modèle générique d'EPFH applicable à l'ensemble des EPS de niveau 2 « événements internes chaudière » des réacteurs en fonctionnement. Il est adapté à l'élargissement du système de conduite inhérent à l'organisation en situation de crise et s'appuie sur les apports méthodologiques de la méthode d'EPFH MERMOS<sup>4</sup>, majoritairement utilisée par EDF pour les EPS 1. Ce modèle générique propose trois méthodes EPFH présentant des niveaux de complexité croissants.

La diffusion de la méthode MEPEM est postérieure à celle du rapport EPS 2 de l'EPR. En conséquence, EDF ne disposait pas de cette méthode finalisée lors de la réalisation de son projet EPS 2. Néanmoins, l'ASN considère que les modèles MEPEM présentent une avancée par rapport au modèle simplifié et que, pour la cohérence des différents modèles EPS 2 et pour faciliter la comparaison entre paliers, il est souhaitable d'utiliser la même méthode pour toutes les EPS 2. L'ASN considère que, pour la mise à jour de l'EPS 2, EDF devra reprendre la modélisation des actions OSSA en considérant des hypothèses actualisées et un modèle adapté.

Par ailleurs, le modèle EPFH simplifié utilisé par EDF ne prévoit pas de traitement particulier pour les actions locales, préparatoires à la mise en service de l'aspersion EVU et pour le lignage de ce système en vue de l'injection de soude telle que modélisée dans la version actuelle de l'EPS 2. Ainsi, EDF n'analyse pas les difficultés qui peuvent se présenter pour mettre en œuvre ces actions en local, notamment pour les situations accidentelles qui conduisent à une ambiance dégradée.

Enfin, la quantification EPFH de l'EPS 2 s'appuie sur un délai disponible de 12 heures pour la réalisation des actions. Ce délai disponible, qui correspond à la durée de décharge prévue des batteries de sauvegarde, pourrait être raccourci en cas de contamination rendant inaccessibles les locaux où des actions doivent être réalisées.

**Demande H.3 : L'ASN demande à EDF d'améliorer la modélisation des actions des OSSA à mettre en œuvre en local pour le système EVU, en évaluant les délais disponibles pour la réalisation de ces actions, compte tenu notamment des conditions d'ambiance qui peuvent être dégradées.**

#### ***H.4. Risque d'échec des actions relatives au confinement***

Une hypothèse importante retenue par EDF pour la réalisation de l'EPS2 est qu'il n'existe pas de dépendance entre les actions à réaliser en CIA et les actions à réaliser dans les OSSA. Pour EDF, ceci « est justifié par le fait que les procédures et l'organisation de conduite ne sont pas les mêmes et que les critères pour réaliser les actions peuvent être différents ».

Dans les situations de PTAE, EDF néglige ainsi le risque que les actions prescrites par les OSSA relatives au confinement ne soient pas réalisées. EDF s'appuie notamment sur le fait que l'entrée en accident grave est tardive, ce qui permet de réduire la dépendance entre les actions OSSA et l'échec du démarrage des diesels de secours (SBO) dans le délai requis. EDF estime en outre que l'introduction d'une dépendance facteur humain (FH) pour ces états dégradés de l'installation aurait un impact négligeable sur les résultats.

Toutefois, au vu des résultats obtenus pour les états d'arrêt par EDF, l'ASN a noté qu'en état Cb (état d'arrêt à froid normal) ou D (état d'arrêt à froid pour intervention) les délais avant entrée en accident grave sont courts (4 heures en état Cb et 3 heures en état D).

---

<sup>4</sup> Méthode d'Évaluation de la Réalisation des Missions Opérateurs pour la Sécurité

**Demande H.4 :** L'ASN demande à EDF de justifier pour les états d'arrêt (notamment dans les états Cb et D), l'absence de risque d'échec des actions nécessaires au confinement en situation de manque de tension généralisée à la suite de l'échec du démarrage des diesels SBO en CIA, compte tenu des délais courts mis en évidence dans les calculs supports.

**H.5. Isolement des pénétrations au pupitre inter poste opérateur (PIPO) en cas d'indisponibilité du contrôle-commande et des ventilations**

Actuellement, la mission de récupération de l'échec de l'isolement enceinte en cas de défaillance du contrôle-commande n'est pas complètement définie car EDF ne dispose pas du temps de mission associé. EDF ne dispose pas non plus de délai clairement établi pour ce qui concerne la mission de mise en service manuelle des ventilations (EDE<sup>5</sup>, DWL<sup>6</sup> et EBA<sup>7</sup> petit débit). EDF considère une probabilité de défaillance de 0,1 pour une action réalisable en salle de commande, utilisée uniquement pour des scénarios lents (primaire intègre ou brèche inférieure à 3"), et indique que celle-ci est conservatrice par rapport à la valeur de 0,01 appliquée à l'EPS 2 des réacteurs de 1300 MWe. Pour le démarrage manuel des ventilations, les délais disponibles sont supérieurs à ceux de la réalisation du signal manuel d'isolement de l'enceinte, ce qui justifie du point de vue d'EDF d'associer, conservativement et sans rechercher le délai de grâce supplémentaire, la même probabilité d'échec.

L'ASN considère que, pour la mise à jour de l'EPS 2, EDF devra s'assurer que la valeur 0,1 retenue pour ces missions est représentative et que la récupération par les opérateurs peut effectivement être considérée.

**Demande H.5 :** L'ASN demande à EDF de détailler la modélisation des actions de récupération par le pupitre inter poste opérateur de l'échec de l'isolement de l'enceinte en cas de défaillance du contrôle-commande (faisabilité de cette récupération par les opérateurs et disponibilité matérielle), ainsi que la modélisation de la mise en service manuelle des ventilations EDE, DWL, EBA petit débit (faisabilité de l'action et estimation du temps de mission) et de justifier dans les deux cas la probabilité retenue dans l'EPS 2.

## **I. Dilutions hétérogènes**

L'ASN considère qu'il n'existe actuellement pas de justification permettant d'exclure a priori les dilutions hétérogènes inhérentes à une situation accidentelle et qu'elles font donc partie des phénomènes devant être étudiés dans une EPS 2, en particulier :

- les dilutions hétérogènes inhérentes à l'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) lorsqu'un fonctionnement des générateurs de vapeur en régime caloduc est possible ;
- les dilutions hétérogènes induites par une rupture de tube de générateur de vapeur (RTGV), faisant suite à une erreur de conduite lors de la phase de stabilisation sur les générateurs de vapeur et conduisant à la rétrovidange du circuit secondaire dans le circuit primaire.

L'ASN rappelle que, pour les réacteurs en fonctionnement, la position d'EDF, visant à considérer comme marginales les séquences de dilutions hétérogènes par rétrovidange lors d'une RTGV, repose sur un argumentaire purement qualitatif, sans réelle évaluation de la fréquence des séquences à risque.

**Demande I :** L'ASN demande à EDF d'inclure l'évaluation des risques de dilution hétérogène inhérente à une situation d'accident.

---

<sup>5</sup> EDE : Circuit de mise en dépression de l'espace entre les deux enceintes d'un réacteur

<sup>6</sup> DWL : Système de ventilation du bâtiment des auxiliaires de sauvegarde et du bâtiment électrique

<sup>7</sup> EBA : Circuit de balayage à l'arrêt

## **J. Brèches induites – RTGV**

### ***J.1. Brèches induites***

En accident grave, le risque de ruptures de tubes de générateur de vapeur dépend de la présence de bouchons d'eau dans les branches intermédiaires du circuit primaire et le fond de cuve. Dans l'EPS 2 du réacteur n° 3 de Flamanville, la probabilité de disparition des bouchons d'eau est dix fois plus faible que dans l'EPS 2 des réacteurs du palier 1300 MWe.

**Demande J.1 : L'ASN demande à EDF de justifier la valeur retenue dans l'EPS 2 de l'EPR de Flamanville pour la probabilité de disparition des bouchons d'eau.**

### ***J.2. RTGV***

Même en présence de bouchons d'eau dans le circuit primaire, des ruptures de tubes de générateur de vapeur sont très probables si la partie secondaire d'un générateur de vapeur est dépressurisée. Pour maintenir la pression dans les générateurs de vapeur, les OSSA prévoient leur isolement sur critère de bas niveau d'eau.

**Demande J.2 : L'ASN demande que l'échec de l'action d'isolement des GV par les opérateurs soit modélisé avec précision dans l'EPS 2 de l'EPR de Flamanville.**

## Observations de l'ASN

### **K. Fonctionnement intempestif du RIS**

L'entrée en accident grave implique, selon les OSSA, la dépressurisation du primaire et, en conséquence, la vidange immédiate des accumulateurs. Le critère d'entrée en accident grave adopté sur l'EPR (température mesurée par les thermocouples du système d'instrumentation interne du cœur RIC égale à 650 °C), qui correspond à l'instant de mise en œuvre de la dépressurisation, permet alors la vidange des accumulateurs avant la dégradation du cœur. Par ailleurs, l'injection d'eau en cuve n'est pas autorisée par les OSSA compte tenu de la gestion prévue de l'accident grave par le récupérateur de corium. Le système d'injection de sécurité RIS n'est pas qualifié aux conditions d'accident grave car son utilisation en accident grave ne participe pas à la démonstration de sûreté, en conséquence il n'est pas modélisé dans l'EPS 2.

Actuellement les OSSA ne prévoient pas l'inhibition du RIS, comme action immédiate en situation d'accident grave, mais plutôt la désactivation du système de protection du réacteur (RPR). La désactivation du système RPR est une action à mettre en œuvre en local, sans garantie de son délai de réalisation. EDF a indiqué qu'il prévoyait d'intégrer, dans la mise à jour des OSSA, la demande d'arrêt des pompes RIS en action immédiate ainsi que des dispositions pour éviter un éventuel démarrage intempestif.

**Observation K** : L'ASN note l'évolution envisagée des OSSA pour intégrer la demande d'arrêt des pompes RIS et les dispositions pour éviter son éventuel démarrage intempestif. Elle estime néanmoins que, sauf à démontrer que ces risques sont éliminés, il serait prudent de considérer l'échec possible de ces dispositions et d'évaluer l'événement « injection intempestive par le RIS après l'entrée en accident grave ».

### **L. Interaction corium-réfrigérant en cuve (explosion de vapeur)**

L'ASN considère que certains aspects de fragilisation potentielle du couvercle de cuve mériteraient d'être analysés plus en détail compte tenu des nombreuses pénétrations dans le haut de la cuve dont il faudrait mieux comprendre le comportement en cas d'explosion de vapeur à l'intérieur de la cuve.

En effet, il est probable que de l'eau soit présente en cuve, par exemple du fait de la vidange des accumulateurs, du fonctionnement intempestif du RIS ou encore du fait qu'elle ne s'est pas vaporisée dans le fond de cuve.

**Observation L** : L'ASN considère qu'EDF devrait étudier les conséquences d'une explosion de vapeur dans la cuve du réacteur en tenant compte :

- de la présence d'un nombre élevé de pénétrations dans le couvercle de la cuve de ce réacteur ;
- des effets thermiques (diminution de la résistance mécanique d'un couvercle chaud).

## **M. Situations accidentelles avec le tampon d'accès matériel (TAM) initialement ouvert**

Le temps minimum nécessaire pour réaliser les différentes opérations de refermeture du TAM a été évalué à 3 heures et 10 minutes en considérant 20 % d'aléa. Compte tenu des différentes opérations nécessaires, tout gain de temps significatif sur la vitesse prévue de refermeture du TAM en cas d'accident apparaît difficile.

Dans l'EPS 2 du réacteur n° 3 de Flamanville, EDF ne prend en compte l'action de refermeture du TAM par les opérateurs que dans l'état Ca<sup>8</sup> du réacteur, pour lequel le délai disponible avant ébullition est estimé supérieur à 15 heures, alors qu'il est estimé inférieur à 40 minutes pour tous les autres états. Ceci explique la forte contribution des situations avec le TAM ouvert (20%) à la fréquence totale de rejets importants estimée dans l'EPS 2. Pour ces situations, EDF a confirmé que l'éclairage probabiliste apporté par l'EPS 2 sera pris en compte pour les spécifications techniques d'exploitation (STE).

Ceci convient à l'ASN, qui souhaiterait toutefois qu'EDF complète l'analyse des situations avec TAM ouvert, dans le rapport EPS 2 du réacteur n° 3 de Flamanville, en y précisant les dispositions de conception et d'exploitation contribuant à démontrer leur élimination pratique.

**Observation M** : L'ASN considère qu'EDF devrait compléter l'analyse des situations avec le TAM ouvert dans l'EPS 2, en précisant les dispositions de conception et d'exploitation contribuant à justifier leur « élimination pratique ».

---

<sup>8</sup> État d'arrêt intermédiaire sur RIS-RA, circuit primaire fermé